



УДК 577.115.3+581.1
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2022.40.73>

Сезонная динамика содержания липидов и жирных кислот в тканях злаков *Avena sativa* и *Bromopsis inermis*

В. В. Нохсоров¹, Л. В. Дударева², К. А. Петров^{1*}

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия

²Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В условиях Центральной Якутии продолжены исследования особой ценности осенневегетирующих холодоустойчивых трав, зелёные побеги которых уходят под снег, подвергаясь естественному холодовому консервированию. С применением методов тонкослойной и газожидкостной хроматографии/масс-спектрометрии изучены сезонные изменения содержания суммарных липидов (СЛ) и их эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в тканях побегов однолетнего злака (овёс посевной *Avena sativa*) стандартного и позднего сроков сева и побегов многолетнего злака (кострец безостый *Bromopsis inermis*) до летнего скашивания и отросших после этой процедуры осенью. Обсуждается перспективность использования выращенного зелёного криокорма в качестве ценной витаминной добавки для сельскохозяйственных и диких травоядных копытных в продолжительный зимовочный период.

Ключевые слова: липиды, полиненасыщенные жирные кислоты, линолевая кислота, α-линоленовая кислота, холодовое закаливание, криокорм, якутская лошадь, травоядные животные.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России (FWRS-2021-0024) и при финансовой поддержке программы грантов Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-1000.2021.5).

Для цитирования: Нохсоров В. В., Дударева Л. В., Петров К. А. Сезонная динамика содержания липидов и жирных кислот в тканях злаков *Avena sativa* и *Bromopsis inermis* // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2022. Т. 40. С. 73–79. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2022.40.73>

Short communication

Seasonal Dynamics of Lipid and Fatty Acid Content in Tissues of Common Oat (*Avena sativa*) and Smooth Brome Grass (*Bromopsis inermis*)

V. V. Nokhsorov¹, L. V. Dudareva², K. A. Petrov^{1*}

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russian Federation

²Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Yakutia is a zone of continuous permafrost distribution, and its uniqueness lies in the fact that it has a kind of hidden biological resource that allows herbivores to survive even in conditions of limited floristic diversity. The current paper focuses on the disclosure of this resource, which we

believe is in the nutritional value of permafrost plants. We have studied the content of total lipids and their essential polyunsaturated fatty acids in summer and autumn vegetative plants. According to the goal stated, we have pioneered the use of thin-layer and gas-liquid chromatography and mass spectrometry to show seasonal changes in the content of total lipids and their essential polyunsaturated fatty acids in the following plants: annual *Avena sativa* L. of standard and late sowing dates, and perennial *Bromopsis inermis* Leys before and after summer mowing in the conditions of Central Yakutia. Artificial shortening of the vegetation period of grasses has led to their preservation by natural cold (green cryo-feed). We have found that an increase in the amount of lipids in cereal plants occurs with the onset of low hardening air temperatures in the autumn period, in particular, a significant increase in linoleic C18:2(ω -6) and α -linolenic C18:3(ω -3) acids compared with indicators of summer vegetative plants. The detected process may indicate an increase in the energy intensity of frozen feed, thereby determining the important role of cryo-feed for pre-winter fat accumulation in herbivores in the cryolithozone. In the body of animals, soluble sugars of autumn vegetative or winter-green plants growing or frozen by natural cold and used as autumn and winter feed are converted into medium- and long-chain essential polyunsaturated fatty acids of the omega-6 and omega-3 families (arachidonic, and eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids, respectively) and to a large extent help to winter. The use of grown green cryo-feed as a vitamin supplement for farm animals during a long stall period will open up new opportunities in increasing the productivity of livestock breeding in Yakutia in the future and help optimize the flow of substances and energy along the trophic cryo-feed – animal – human chain. Essential PUFAs, namely linoleic and α -linolenic acids, play an essential role in health and prolonging human life.

Keywords: lipids, polyunsaturated fatty acids, linoleic acid, α -linolenic acid, cold hardening, cryo-feed, Yakut horse, herbivores.

For citation: Nokhsorov V.V., Dudareva L.V., Petrov K.A. Seasonal Dynamics of Lipid and Fatty Acid Content in Tissues of Common Oat (*Avena sativa*) and Smooth Brome Grass (*Bromopsis inermis*). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2022, vol. 40, pp. 73–79. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2022.40.73> (in Russian)

Фитоценозы криолитозоны Якутии представляют собой уникальный тип сообществ. Повсеместное распространение многолетнемерзлых пород, избыток либо, наоборот, недостаток влаги, неплодородные почвы наряду с низкими температурами воздуха в течение 7–9 мес. в году обуславливают ограниченность их флористического разнообразия. Тем не менее биологические ресурсы территории позволяют травоядным животным выживать даже в этих очень суровых естественных условиях.

Сезонный рост травянистой растительности луговых сообществ криолитозоны характеризуется специфическими особенностями: эти участки в первой половине лета нередко подвергаются длительному заливанию паводковыми водами, стравливанию животными и хозяйственному скашиванию, в связи с чем у многих травянистых растений наблюдается два цикла роста. Первый цикл приходится на начало вегетации растений до начала паводков и скашивания в середине лета, к этому времени растения успевают пройти фазы вегетации и начало цветения. Второй цикл характеризуется интенсивным ростом новых побегов из прикорневых почек, отросших после схода воды или в ходе посттравматической регенерации. Отросшие зелёные побеги не успевают пройти цикл развития целиком и осенью уходят под снег частично в зелёном состоянии. Основу осенневегетирующей травянистой растительности составляют злаки, осоки, пушицы и некоторые хвощи, сохраняющие под снегом до 100 % зелёной массы [Андреев, Беляева, Галактионова, 1974]. Эта природная особенность стала основой способа естественного холодового

консервирования зелёных растений путём посева однолетних холодоустойчивых растений в поздние сроки [Мейснер, 1980]. Для условий Якутии такой способ получения зелёного криокорма подтверждён патентом изобретения¹. Осенневегетирующие побеги дикорастущих травянистых растений и однолетних растений овса позднего посева, подвергаясь холодovому закаливанию низкими положительными температурами, сохраняются до поздней осени и консервируются первыми отрицательными температурами воздуха. В течение продолжительной зимы они остаются адаптивным кормом для травоядных животных, в том числе лошадей якутской породы, весьма эффективно использующих его для нагула [Алексеев, Неустроев, Иванов, 2006]. Зелёный криокорм, попадая в желудочно-кишечный тракт травоядного животного, метаболизм которого уже определённым образом сформирован, хорошо усваивается и в дальнейшем используется для поддержания криорезистентного состояния животного, в том числе путём химического термогенеза.

Особо важная роль в процессе адаптации осенневегетирующих травянистых растений к низким положительным температурам отводится липидам и их полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК) [Петров, 2016; Petrov, Makhutova, Gladyshev, 2020]. Очевидно, значительное повышение содержания суммарных липидов (СЛ) и их эссенциальных ПНЖК в тканях осенневегетирующих растений обусловлено накоплением в них растворимых сахаров [Потапов, 1967; Трунова, 2007].

К тому же известно, что травоядные млекопитающие, как и человек, не способны синтезировать в своём организме незаменимые жирные кислоты (НЖК) в достаточном количестве и поэтому должны получать их из пищи. В связи с этим особый интерес представляет роль НЖК в трофической цепи криокорм – животное – человек. Эссенциальные ПНЖК, в первую очередь линолевая и α -линоленовая, играют важную роль в жизнеобеспечении жителей северных регионов России, которые получают их, потребляя рыбу, мясо якутской лошади и других травоядных копытных [Питание – основа формирования ... , 2002; Анализ фактического питания ... , 2012; Ценность мяса ... , 2019].

Настоящее исследование предпринято с целью оценить сезонные изменения содержания суммарных липидов и их эссенциальных ПНЖК в тканях летне-, осенневегетирующих травянистых растений в результате их адаптации к низкотемпературному стрессу в Центральной Якутии.

В ходе исследований было оценено влияние позднего посева однолетнего злака овса посевного *Avena sativa* L. и летнего скашивания многолетнего злака костреца безостого *Bromopsis inermis* Leys на рост и развитие осенневегетирующих побегов растений в условиях Центральной Якутии. Овёс высевали в два срока: в конце мая (стандартный ранний) и в середине июля (опытный поздний), кострец после весеннего отрастания скашивали в середине лета. Эксперименты проводили на полевых участках в окрестностях г. Якутска, (62° с. ш., 130° в. д.). Пробы контрольных и опытных растений

¹ Румянцев В. А. Способ заготовки зелёного корма: пат. СССР 1835996. № SU 1835996 A3; заявл. 01.08.90; опублик. 23.08.93. Бюл. № 31.

отбирали в июле – сентябре 2020 г. трижды в течение срока вегетации в различные фазы развития и закаливания.

Экстракция суммарных липидов (СЛ) проводилась с использованием модифицированного метода тонкослойной хроматографии (ТСХ) [Kates, 1986]. Количество СЛ определяли в лиофильно высушенных листьях до постоянной массы аликвот экстракта. Дополнительную тонкослойную очистку пробы от пигментов проводили, выпаривая гексановый экстракт на роторном испарителе RE-2000A (Biobase, Китай) и перерастворяя в 100 мкл хлороформа. Пробу наносили тонкой продольной полосой на ТСХ-пластину (сорбент – силикагель), отступая от нижнего края 1,0–1,5 см. После полного высыхания растворителя пластину погружали в камеру для ТСХ Sorbfil (ИМИД, Россия). В качестве элюента использовали бензол. После того как элюент доходил до верхнего края пластины, её вынимали и подсушивали. Для определения точного положения метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) край пластины обрабатывали 10%-ным раствором серной кислоты в этаноле и нагревали. Снятую с необработанного участка пластины зону МЭЖК переносили в воронку с предварительно промытым ватным фильтром и смывали 10–20 мл хлороформа в колбу. Хлороформный экстракт выпаривали на роторном испарителе и перерастворяли в 1 мл гексана для хроматографирования. Анализ осуществлялся методом газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором 5973/6890N MSD/DS (Agilent Technologies, США). Опыты проводили в трёхкратной повторности.

Посев контрольных вариантов овса посевного и костреца безостого был выполнен в стандартные сроки (в начале вегетационного периода в криоли-тозоне Якутии) (табл. 1). В экспериментах с многолетним злаком (*B. inermis*) в фазе начала колошения (в середине июля) производили срезание побегов на высоте 4–5 см от земли с целью стимулирования закладки молодых побегов. Несрезанные растения костреца служили контролем. Колошение побегов *A. sativa* отмечено через 60–63 дня после посева (15 июля) при высоте растений 45–50 см, после чего проведена уборка осенневегетирующих растений на криокорм. После скашивания 15 июля летневегетирующих растений *B. inermis* рост осенневегетирующих побегов, отросших из прикорневых почек, остановился в фазе выхода в трубку при высоте 54–57 см.

Как показали результаты опытов, содержание СЛ в листьях летне- и осенневегетирующих растений овса в зависимости от сроков посева изменилось незначительно. В таблице 1 представлены показатели содержания СЛ для контрольного и опытного вариантов. По мере снижения среднесуточной температуры воздуха с 9 до 1 и далее до –3 °С содержание СЛ в листьях растений опытного варианта по сравнению с контрольными образцами возросло в 1,2 раза.

Многолетний злак кострец безостый в варианте без скашивания на протяжении летнего сезона характеризовался низким содержанием СЛ по сравнению с отросшими после срезки побегами, в тканях которых наблюдался значительный прирост содержания СЛ, по времени приуроченный к концу августа – началу сентября – времени, когда происходит первая фаза закали-

вания травянистых растений к ночным низким положительным температурам воздуха.

Таблица 1

Содержание суммарных липидов
в тканях растений *A. sativa* и *B. inermis* до и после холододового закаливания

Вариант опыта, фазы развития (закаливания)	Содержание липидов, мг/г сухой массы (сред- нее \pm SD, (n = 3))	Дата отбора проб	T воздуха, °C	
			минимальная	средняя
<i>A. sativa</i>				
Контрольный вариант – первый срок сева (посев 31 мая)				
Колошение	126,7 ^a \pm 0,3	14 июля	17	23
Созревание	129,3 ^b \pm 0,3	25 июля	16	21
Опытный вариант – второй срок сева (посев 15 июля)				
Первая фаза закаливания	153,9 ^a \pm 0,35	25 сентября	-4	1
<i>B. inermis</i>				
Контрольный вариант – растения без скашивания (посев 31 мая)				
Колошение	44,0 ^c \pm 0,25	11 июля	13	21
Созревание	56,8 ^a \pm 0,65	25 июля	16	21
Опытный вариант – растения после скашивания (скашивание 15 июля)				
Первая фаза закаливания	133,8 ^c \pm 0,20	25 сентября	-4	1

Примечание. Статистически значимые различия при $p < 0,05$ отмечены индексами ^{a-c}.

Уровень содержания линолевой и α -линоленовой ЖК у обоих осенневегетирующих растений растёт по мере адаптации растения к понижению температуры среды (табл. 2). Так, содержание линолевой кислоты у овса посевного увеличилось в 2,1 раза, а α -линоленовой – в 1,8 раза. У костреца безостого после низкотемпературного закаливания по сравнению с летними травами прирост содержания обеих ЖК составил 1,7 раза.

Таблица 2

Абсолютное содержание незаменимых жирных кислот в тканях
A. sativa и *B. inermis* до и после холододового закаливания

Вид	Дата отбора проб	Содержание незаменимых жирных кислот, мг/г сухой массы (среднее \pm SD, (n = 3))	
		Линолевая (C18:2, ω -6)	α -Линоленовая (C18:3, ω -3)
<i>A. sativa</i>	15 июля	8,6 ^a \pm 0,5	55,8 ^a \pm 4,8
	25 сентября	18,1 ^c \pm 1,1	100,5 ^a \pm 4,0
<i>B. inermis</i>	15 июля	7,8 ^a \pm 0,4	37,4 ^b \pm 7,8
	25 сентября	13 ^b \pm 1,5	63,7 ^c \pm 10,2

Примечание. Статистически значимые различия при $p < 0,05$ отмечены индексами ^{a-c}.

В осенний период в Центральной Якутии складываются самые благоприятные погодные условия для повышения адаптации отстающих в развитии и продолжающих вегетацию травянистых растений к холоду. К благоприятствующим метеорологическим элементам могут быть отнесены большое число ясных солнечных дней, необходимых для фотосинтеза и прохладных ночей, задерживающих расходование углеводов на дыхание. В результате осенневегетирующие растения, подвергаясь холододовому закаливанию, сохраняются в зелёном состоянии до поздней осени и в таком виде уходят

под снег. Сохранению побегов способствует и то, что в начале зимнего сезона здесь сведены к минимуму столь неблагоприятные для растений явления, как выпревание и выпирание.

Проведённые нами исследования показали, что с началом осеннего похолодания в результате холодого закаливания одновременно с ростом количества суммарных липидов у осенневегетирующих растений отмечается значительное увеличение содержания эссенциальных ПНЖК по сравнению с показателями летневегетирующих растений.

Накопление в побегах злаков большого количества энерго- и материалоемких веществ существенно повышает их питательную ценность в качестве кормового ресурса. Выращенный в условиях Центральной Якутии зелёный криокорм может использоваться в качестве высокоэффективной витаминной добавки в зимнем корме сельскохозяйственных и диких животных.

Список литературы

Алексеев Н. Д., Неустроев М. П., Иванов Р. В. Биологические основы повышения продуктивности лошадей. Якутск : Изд-во ЯНИИСХ, 2006. 280 с.

Анализ фактического питания геронтов г. Якутска / В. Н. Неустроева, Г. И. Симонова, Е. С. Кылбанова, О. В. Татарина, Л. В. Щербакова, Е. Г. Веревкин // Якутский медицинский журнал. 2012, № 2 (38). С. 83–85.

Андреев В. Н., Беляева Н. В., Галактионова Т. Ф. Тебеневочные пастбища Северо-Востока Якутии. Якутск : Якут. кн. изд-во, 1974. 246 с.

Мейснер А. Ф. Новое в заготовке зелёных кормов. М. : Знание, 1980. 64 с.

Петров К. А. Криорезистентность растений: эколого-физиологические и биохимические аспекты. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2016. 276 с.

Питание – основа формирования здоровья человека на Севере / В. Г. Кривошапкин, В. П. Алексеев, В. Л. Осаковский, Г. А. Тимофеев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2002, № 1. С. 57–60.

Потапов В. Я. Углеводы и лигнин в кормовых травах Якутии. М. : Наука, 1967. 173 с.

Трунова Т. И. Растение и низкотемпературный стресс. М. : Наука, 2007. 54 с.

Ценность мяса якутской лошади для продления жизни человека на Севере / С. А. Сукнёва, К. А. Петров, А. С. Барашкова, А. А. Перк // ЭКО. 2019. Т. 49, № 5. С. 62–175. <http://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-5-162-175>

Kates M. Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids. Elsevier, 1986. 464 p.

Petrov K. A., Makhutova O. N., Gladyshev M. I. Fatty Acid Composition of Yakut Horse Tissues // Doklady Biochemistry and Biophysics. 2020. № 1 (492). P. 105–107. <https://doi.org/10.1134/S1607672920030047>

References

Alekseev N.D., Neustroev M.P., Ivanov R.V. *Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti loshadei* [Biological bases of horse productivity improvement]. Yakutsk, Sci. Agric. Inst. Publ., 2006, 280 p.

Neustroeva V.N., Simonova G.I., Kylbanova E.S., Tatarinova O.V., Shcherbakova L.V., Verevkin E.G. Analiz fakticheskogo pitaniya gerontov g. Yakutsk [Analysis of the actual nutrition of the heronts of Yakutsk city]. *Yakutskii meditsinskii zhurnal* [Yakut. Med. J.], 2012, no. 2 (38), pp 83-85.

Andreev V.N., Belyaeva N.V., Galaktionova T.F. *Tebenevochnye pastbishcha Severo-Vostoka Yakutii* [Snow-covered pastures of the North-East of Yakutia]. Yakutsk, Yakutian Publ., 1974, 246 p.

Meisner A.F. *Novoe v zagotovke zelenykh kormov* [New in green fodder harvesting]. Moscow, Znanie Publ., 1980, 64 p.

Petrov K.A. *Kriorezistentnost rastenii: ekologo-fiziologicheskie i biohimicheskie aspekty* [Plant cryo-resistance: ecological, physiological and biochemical aspects]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2016, 276 p.

Krivoshapkin V.G., Alekseev V.P., Osakovskij V.L., Timofeev G.A. Pitaniye – osnova formirovaniya zdorov'ya cheloveka na Severe [Nutrition – the basis for the human health in the North]. *Nat. Res. Arctic Subarctic*, 2002, no. 1, pp. 57-60.

Potapov V.Ya. *Uglevody i lignin v kormovykh travakh Yakutii* [Carbohydrates and lignin in forage grasses in Yakutia]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 173 p.

Trunova T.I. *Rastenie i nizkotemperaturnyi stress* [The plant and low temperature stress]. Moscow, Nauka Publ., 2007, 54 p.

Sukneva S.A., Petrov K.A., Barashkova A.S., Perk A.A. Tsennost myasa yakutskoi loshadi dlya prodeniya zhizni cheloveka na Severe [The value of Yakut horse meat for extending human life in the North]. *EKO*, 2019, vol. 49, no. 5, pp. 62-175. <http://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-5-162-175>

Kates M. Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids. *Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology*. Elsevier, 1986, vol. 3, 464 p.

Petrov K.A., Makhutova O.N., Gladyshev M.I. Fatty Acid Composition of Yakut Horse Tissues. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2020, no. 1 (492), pp. 105-107. <https://doi.org/10.1134/S1607672920030047>

Сведения об авторах

Нохсоров Василий Васильевич

кандидат биологических наук, доцент,
старший научный сотрудник
Институт биологических
проблем криолитозоны СО РАН
Россия, 677007, г. Якутск, пр. Ленина, 41
e-mail: vv.nokhsorov@mail.ru

Дударева Любовь Виссарионовна

кандидат биологических наук,
заведующий лабораторией
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: laser@sifibr.irk.ru

Петров Клим Алексеевич

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Институт биологических
проблем криолитозоны СО РАН
Россия, 677007, г. Якутск, пр. Ленина, 41
e-mail: kap_75@bk.ru

Information about the authors

Nokhsorov Vasily Vasilievich

Candidate of Sciences (Biology), Associate
Professor, Senior Research Scientist
Institute for Biological Problems
of Cryolithozone SB RAS
41, Lenin ave., Yakutsk, 677007,
Russian Federation
e-mail: vv.nokhsorov@mail.ru

Dudareva Lyubov Vissarionovna

Candidate of Sciences (Biology),
Head of Laboratory
Siberian Institute of Physiology
and Plant Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: laser@sifibr.irk.ru

Petrov Klim Alekseevich

Doctor of Sciences (Biology),
Leading Research Scientist
Institute for Biological Problems of
Cryolithozone SB RAS
41, Lenin ave., Yakutsk, 677007,
Russian Federation
e-mail: kap_75@bk.ru